

일본의 고효율 흡수식 냉온수기

High Efficiency Absorption Chiller-Heater in Japan

■ 윤 정 인 / 편집이사, 부경대학교 기계공학부, yoonji@pknu.ac.kr
 ■ 이 호 생 / 부경대학교 기계공학부, purger77@pknu.ac.kr

최근 일본에서 개발된 3중효율, 고효율 이중효율 및 배열투입형 흡수식 시스템의 신기술 동향을 소개하고자 한다.

최근 에너지관련 주요 키워드중 하나가 에너지절약이다. 산업용 에너지 소비량의 상당부분을 차지하는 공조설비의 에너지절약기술은 대단히 중요하다. 가스흡수식 냉온수기는 냉매로 오존층파괴 및 지구온난화지수가 0인 물을 사용한다는 점과 전력을 거의 사용하지 않고 여름철 냉방이 가능하여 피크전력을 줄일 수 있다는 점, 그리고 천연가스를 사용하여 친환경적이라는 점 등을 장점으로 들 수 있다. 이러한 장점으로 인해 흡수식은 대형빌딩이나 산업용 냉난방 열원기기로 널리 사용되고 있다. 흡수식 냉온수기 시장의 주류를 이루고 있는 리튬브로마이드 흡수식 방식은 일본이 세계적으로 가장 앞서 있으며, 우리나라도 그 뒤를 이어 세계적인 수준을 유지하고 있다. 그림 1은 흡수식 냉온수기의 고효율화 변화추이를 나타낸 것으

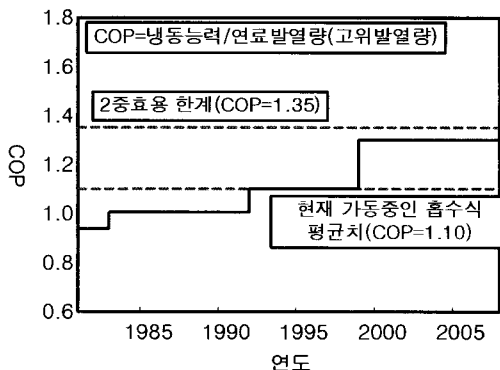
로, 국내 도입 초창기인 80년대 초반해도 냉방 COP는 1에 미치지 못하였으나, 기술개발을 통한 효율향상 결과 현재는 2중효율의 한계효율에 가까운 제품(COP 1.35)도 출시되고 있다.

이 글은 최근 일본냉동공조학회에서 발행하고 있는 냉동지에 소개된 흡수식 관련 글중 Kawasaki사의 3중효율¹⁾, Ebara사의 고효율 이중효율²⁾ 및 Tokyo Gas의 배열투입형³⁾ 흡수식 시스템의 신기술 동향을 우리학회 회원들에게 소개하고자 요약 정리한 것이다.

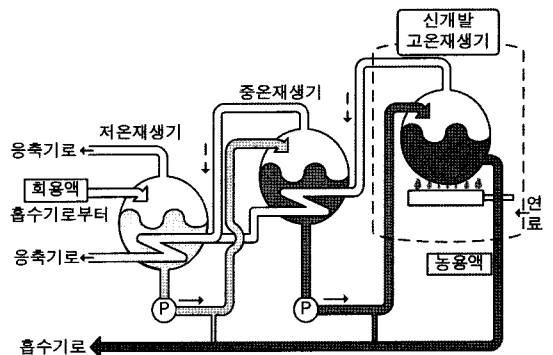
3중효율 흡수식 냉온수기

3중효율의 원리

3중효율기기란 기존의 2중효율 기기에 고온/고압재생기를 추가하여 부착한 것이다. 그림 2는 3중효율의 원리를 나타낸 것으로, 재생기가 3개(고온, 중온, 저온)로 구성되어 있어 고온재생기에서 발생하는 고온의 열을 하부 재생기 순으로 이용한



[그림 1] 흡수식 냉온수기의 고효율화 변화추이



[그림 2] 3중효율 원리



다. 즉, 고온재생기에서 발생한 냉매증기로 증온재생기의 흡수액을 가열하고, 증온재생기에서 발생한 냉매증기로 저온재생기의 흡수액을 가열한다. 이와 같이 최초의 고온재생기에서 발생한 고온의 열을 낮은 곳으로 순차적으로 활용하여 3단계(이중효용은 2단계)로 이용할 수 있으므로 높은 COP를 얻을 수 있다.

개발 포인트

다중효용기는 앞에서 설명한 것처럼 하위(저온)재생기의 흡수액을 상위재생기에서 발생한 냉매증기로 가열하므로 하위재생기에서 발생하는 냉매증기의 온도는 하위재생기에서 흡수액의 포화 온도 이상이어야 한다. 따라서 그림 3과 같이 3중효용기기에서는 2중효용기와 비교하여 고온재생기의 온도, 압력을 높일 필요가 있어 고온/고압에 대한 다음 2가지 중요과제가 있다.

첫째, 고온재생기에서 발생하는 냉매증기의 압력이 대기압을 초과하므로 고온재생기가 보일러로 취급되는 점과 둘째, 압력상승에 따라 흡수액 온도가 상승함에 따른 대응이다. 즉 흡수액으로 사용되는 리튬브로마이드수용액은 소금물과 같이 부식성이 높고, 용액온도가 높을수록 부식성이 증가한다. 따라서 부식억제기술의 개발은 기기의 수명과 안전성에 직결되는 주요 기술이다. 위에서 언급한 기술개발과제를 달성하기 위해 사이클 최적화, 각 구성요소의 고효율화, 컴팩트화, 배열이용기술

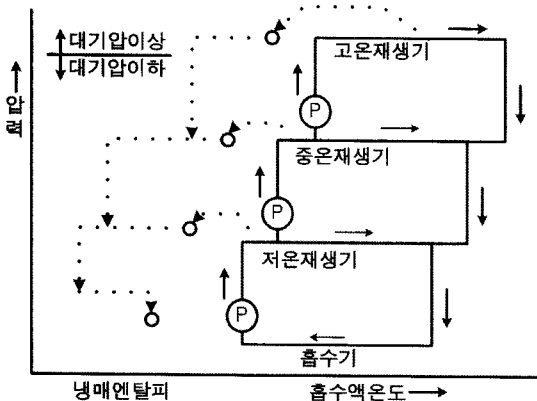
개발, 제어 최적화 등을 수행하였다.

3중효용흡수식의 고온재생기는 저부하운전시나 정지시에 대기압 이하의 진공이 되지만 고부하운전시에는 대기압을 넘어선다. 따라서 고온재생기는 고진공구조 뿐 만 아니라 보일러규격 등의 관련 규격을 만족할 수 있는 내압구조를 필요로 한다.

개발과제 중에서도 특히 중요한 부식억제기술에 관해서는 요소기술은 물론 최종적으로는 실제기기에서 내구시험을 실시하였다. 내구시험 후 분해 조사를 거쳐 내구성을 확인하여야 한다. 내구시험의 개요는 표 1과 같다. 내구시험기간은 2,100시간에 걸쳐 시행하였으며, 운전기간 중에는 부식억제제가 적절한 농도를 유지하도록 관리하고 있다.

내구시험 중에는 장기적인 성능에 관해서도 평가하고 있다. 2,100시간을 통한 내구시험중 냉방능력 저하는 보이지 않았으며, COP에 관해서도 운전 시간과 함께 약간 저하하는 경향(표 2의 2항)을 보였으나, 내구시험 종료 후에 냉수/냉각수계통의 전열관을 세정함으로써 초기의 COP레벨까지 성능이 회복하는 것을 확인(표 2의 3항)할 수 있었다. 따라서 최적 유지보수가 이루어 진다면 장기간에 걸쳐 초기와 동등한 성능을 확보할 수 있음을 확인하고 있다.

필드시험은 앞의 내구시험과는 별도로 실제 사용 조건에서 운전상황과 내구성을 확인하기 위해 일본가스협회가 시행하였으며, 필드테스트는 공장의 프로세스 냉각용에 연간 냉방운전을 하여 가동



[그림 3] 3중효용 사이클

<표 1> 내구시험 개요

시험기기 개요	냉방능력 : 1,055 kW(300 USRT)
	형식명 : 300 RT, 2차 시제품
시험운전부하	냉방 100% 부하
시험운전시간	2,100시간(연소시간)
운전패턴	10시간 연소, 2시간 정지 반복

<표 2> 내구시험 전후의 성능비교

	(1) 내구 시험전	(2) 2,100h 운전 후	(3) 전열관 세정 후
냉방능력(%)	100.5	95.7	99.2
COP	1.60	1.56	1.61

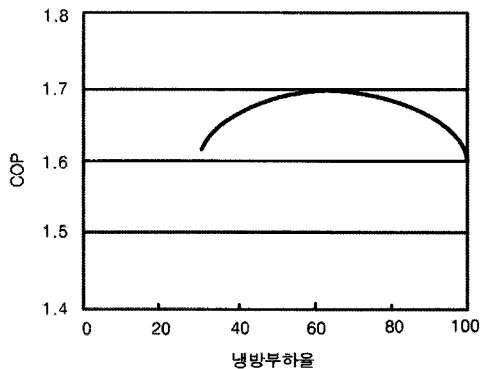
시간은 연 6,000시간정도 실시하였다. 2년간의 시험운전으로 14,000시간에 달하는 시험운전을 실시한 실적을 갖고 있다.

제품의 특징

2중효용에서는 효율향상의 한계에 가까운 1.35를 달성한 고효율기기가 상품화되어 있으나, 3중효용에서는 세계최고 효율인 1.6을 달성하였다. 현재 국내외에서 가동되고 있는 2중효용 흡수식의 평균적인 COP는 대략 1.0 ~ 1.1 정도인 점을 감안하면 상당한 에너지절약 효과를 확인할 수 있다.

3중효용기기의 부분부하 특성을 그림 4에 나타내었다. 신개발 용액순환량 제어에서는 3개의 흡수용액 펌프를 운전상황에 맞춰 각각 독립하여 제어함으로써 이상적인 순환량 밸런스를 확보할 수 있어 모든 부분부하에서 고효율 운전이 가능하다. 이것은 그림 3에서와 같이 흡수용액 펌프를 3개가지진 리버스플로 사이클이라서 가능한 제어방법이다. 이 결과 부분부하에서는 정격시에 비해 높은 COP를 나타내었다. 실제 사용환경에 있어서도 정격조건에서 운전이 되는 경우는 그리 많지 않고, 대부분 부분부하로 운전된다. 따라서 부분부하에서의 효율향상은 정격운전 이상으로 중요한 의미를 가진다.

배열온수투입형 흡수식 냉온수기는 가스엔진 등에서 배출되는 90℃ 정도의 배열온수를 열원으로 하는 배열회수재생기를 설치하여 배열온수에서 열회수함으로써 고온재생기에서의 가열량을 줄여



[그림 4] 3중효용 부분부하 특성

연료가스 소비량을 줄일 수 있는 시스템으로, 정격 운전에서는 20% 연료절감이 가능하다. 약 40% 이하의 부분부하에서는 배열온수만으로 냉방운전이 가능하여 연료가스를 사용하지 않아도 됨을 확인하고 있다.

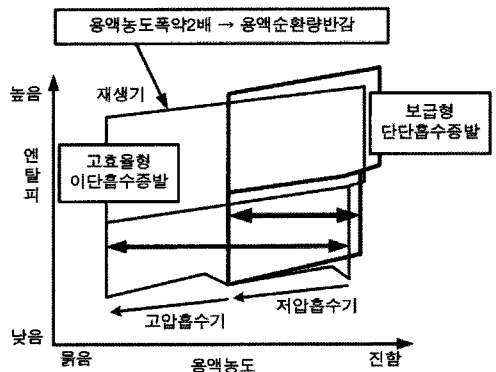
고효율 2중효용 흡수식 냉온수기

흡수식 냉온수기 시장의 대부분을 차지하고 있는 2중효용 흡수식 냉온수기의 고효율화는 현실적으로 가장 가능성있는 접근방법중 하나일 것이다. 이러한 관점에서 Ebara사가 개발한 COP 1.35(고위발열량기준)제품의 특징을 소개하고자 한다.

2단흡수/2단증발 사이클

현재 보급되고 있는 2중효용 냉동사이클은 증발기, 흡수기, 고온재생기, 저온재생기, 응축기, 고온열교환기, 저온열교환기가 각각 1기로 구성되어 있다. 이에 반해 2단흡수/증발 사이클은 증발기, 흡수기가 각각 2기씩 있어 운전시 2기의 흡수기내 압력이 다르기 때문에 증발기가 각각 다른 냉수온도를 취출하는 것이 특징이다. 압력차이로부터 2기를 각각 저압측과 고압측으로 나눌 수 있다.

2단흡수/증발 사이클의 특징은 흡수기가 2기이므로 재생기에서 농축된 진한 농용액은 저압측흡수기 → 고압측흡수기 순으로 흐른다. 농용액은 우선 저압측 흡수기 전열관군에 스프레이되어 냉매를 흡수하고 중간농도로 묽어진 후 용액 스프레이 펌프를



[그림 5] 2단흡수/증발 냉동사이클



거쳐 고압측 흡수기 전열관군에 스프레이되어 다시 냉매증기를 흡수해 묽은 희용액이 된다. 이런 과정을 거친후는 2중효용 사이클과 같은 흐름을 가진다.

그림 5는 단단흡수/증발과 이단흡수/증발 냉동 사이클을 나타낸 것이다. 2기의 흡수기, 증발기는 다른 압력하에서 운전되기 때문에 냉매의 증발온도가 달라, 증발기를 흐르는 냉수의 온도도 다르다. 고압측, 저압측은 거의 1:1의 냉동능력을 가지며, 냉수는 고압측, 저압측 순으로 직렬로 흐르고, 냉각수는 고압측, 저압측 병렬로 흐른다. 정격조건인 경우 냉동기에 흐르는 냉수는 먼저 고압측 증발기에 15℃로 들어가 11℃까지 냉각된 다음 저압측 증발기에서 7℃까지 냉각된 후 부하측으로 보내어진다. 용액농도는 냉매증발온도와 냉각수 온도로 결정되기 때문에 냉수 11℃ 취출시의 용액농도는 7℃ 취출시보다 묽어, 농용액과 희용액의 농도차는 보급형 사이클의 2배가 된다. 냉동능력은 용액순환량 × 용액농도차로 결정되므로 2단흡수/증발 사이클 채용에 의해 용액순환량을 종래 사이클에 비해 절반으로 줄일 수 있어 열교환기의 고성능화, 소형화가 가능하다.

열회수 효율향상

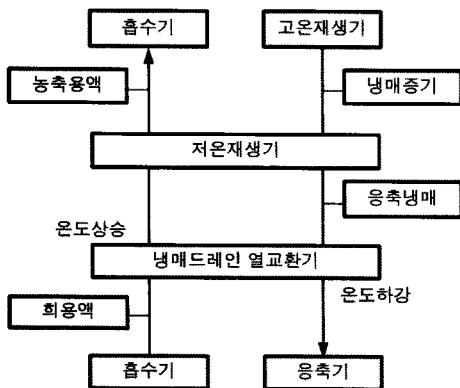
보급형 2중효용 흡수식 사이클은 고온재생기에서 발생한 냉매증기는 저온재생기에서 희용액을 가열농축한 후 열을 잃고 응축되어 응축기로 이동한다. 응축된 냉매는 희용액의 가열 때문에 잠열을 방출하는 정도로 현열까지는 그다지 사용되지 않

아 온도는 거의 90℃ 정도이다. 한편 저온재생기에 공급되는 희용액의 온도는 90℃보다 낮다. 고효율형은 그림 6에서와 같이 저온재생기에서 응축된 냉매드레인과 저온재생기에 공급되는 희용액의 열교환으로 상호 열의 유효이용이 가능하다. 이 열교환에 의해 희용액은 과열상태까지 승온된 후 저온재생기에 보내지기 때문에 그 만큼 농축에 필요한 열에너지를 감소시킨다.

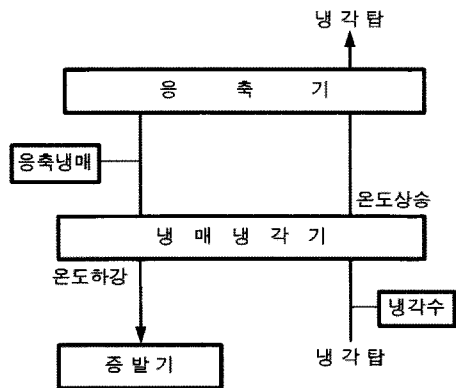
저온재생기에서 발생되어 응축기에서 응축된 냉매증기와 저온재생기에 공급되는 희용액을 가열한 후의 냉매드레인은 응축기내에서 혼합되어 증발기로 이동한다. 이때 냉매드레인 온도는 40℃ 정도이다. 보급형의 경우 40℃의 냉매를 그대로 증발기로 되돌렸지만, 증발기내의 냉매온도는 5℃ 정도이기 때문에 이 온도차만큼 열량은 냉동기 자신이 사용해 버린다. 고효율형에서는 그림 7과 같이 증발기로 돌아오는 냉매와 냉각수를 열교환함으로써 냉매온도를 낮추고 있다. 이 온도를 낮추는 만큼 증발기에서의 냉매증발량을 줄일 수 있어 재생기에서 용액농축을 위한 가열량을 줄일 수 있다.

배가스 유효이용

고온재생기에서 연소한 가스는 연관을 통과하는 과정에서 고온재생기내의 용액을 가열, 농축시킨 후 배가스로 대기에 배출된다. 이 때 배가스 온도는 아직 170℃ 정도로 가열원으로 유효하게 사용할 수 있는 온도이다. 이 배가스의 열을 공기에열기를 이용하여 연소용 급기 예열원으로 활용하고



[그림 6] 냉매드레인 열회수 흐름

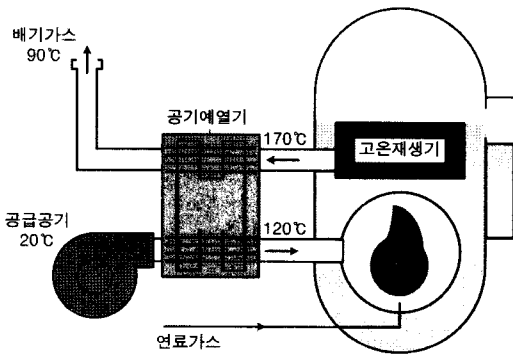


[그림 7] 응축냉매의 냉각흐름

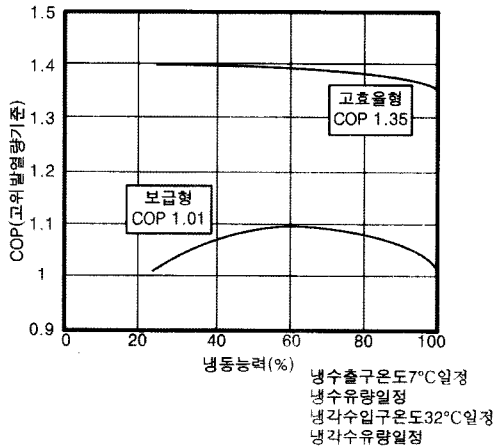
있다. 그림 8에 나타낸 것과 같이 버너팬으로 도입된 공기는 공기에열기에 의해 20℃ 전후에서 120℃ 정도까지 상승한 후 버너에 보내져 연소된다. 연소온도는 약 1,000℃ 정도로 공기가 예열되어 연소온도에 가깝게 되는 만큼 가스소비량이 감소하여 에너지절약이 된다.

부분부하 효율

많은 압축식 냉동기는 부분부하시에도 모터를 정격으로 회전시키면서 냉매순환량을 조절하는 방법을 사용함으로써 저부하시 효율이 저하하는 경향이 있었으나, 최근에는 인버터기술을 이용하여 부분부하 효율을 대폭 개선하고 있다.



[그림 8] 공기에열 흐름



[그림 9] 부분부하 특성

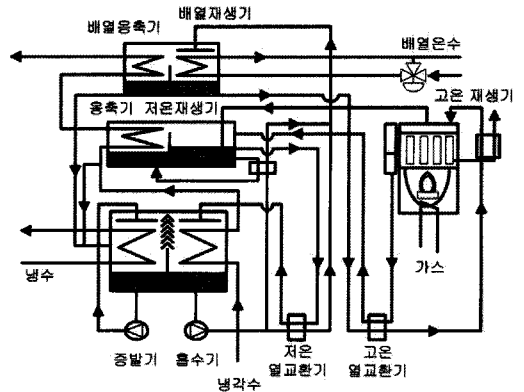
한편, 흡수식 냉온수기는 고온재생기에서 냉매증발에 필요한 열량의 가스를 연소시키기 때문에 부분부하시의 부하에 비례하여 가스소비량도 감소한다. 단위 용액순환량당 용액열교환기의 전열면적이 증가하기 때문에 열교환기에서의 농용액과 희용액의 열교환량이 정격운전보다 크게 되어 그림 9와 같이 부분부하 운전시의 COP가 상승한다.

배열투입 흡수식 냉온수기

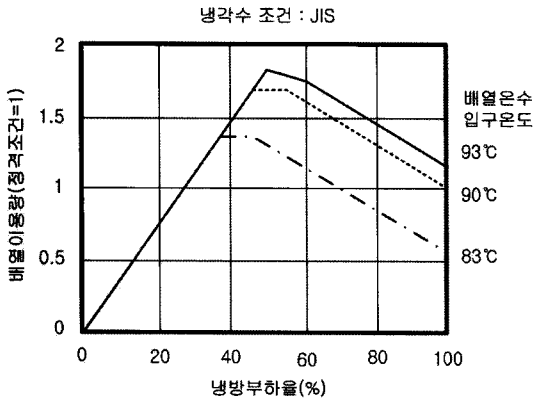
이 시스템은 코제너레이션시스템(CGS)에서 나오는 배열온수 배관을 접속하는 것만으로 설비측에 특별한 제어를 구축하지 않고 배열을 우선적으로 이용하여 냉방을 할 수 있는 가스흡수식 냉온수기이다. 이 기기는 CGS의 보급과 함께 실적이 2008년말에는 누적용량 약 80만kW에 이르고 있다. 최근에는 공조시스템이나 CGS의 고효율화가 요구되고 있는 점, 그리고 고압수전 회피 등의 목적으로 도입되는 가스엔진이 대형화되고 있는 점을 들 수 있어 에너지절약성 향상을 위해서는 냉방 COP의 향상, 가스엔진의 배열이용량 증가 등의 성능을 만족하는 기기의 실용화개발이 중요하다. 에너지절약형 기기는 종래형에 비해 냉방 COP를 약 35% 향상시켰으며, 배열이용량을 대폭 증대시키고 있다.

기기 구조

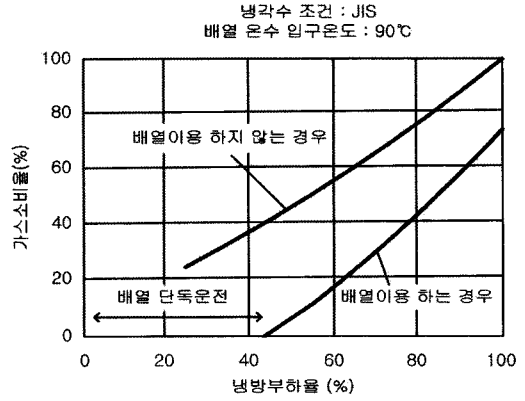
에너지절약형 기기의 구조를 예로 나타낸 것이



[그림 10] 배열투입형 기기 흐름도



[그림 11] 냉방부하율과 배열이용률의 관계



[그림 12] 냉방부하율과 가스소비율 관계

그림 10이다. 에너지절약형 기기는 표준적인 흡수식 냉온수기에 비해 냉방 COP를 약 35% 향상시킨 고효율 가스 흡수식 냉온수기를 기본으로 하고 있으며, 회용액 유로에 저온 용액열교환기와 고온 용액열교환기 사이에 CGS의 배열을 회수하기 위한 배열재생기를 설치한 것이다. 이 배열재생기를 통해 CGS의 배열로 저온 용액열교환기를 나온 흡수용액을 예열·재생(농축)시킴으로써 고온재생기의 연료 소비량을 삭감시킬 수 있다. 종래형과 비교하여 에너지절약형의 구조적인 특징은 사이클 고효율화와 배열회수 고도화를 들 수 있다. 사이클 고효율화는 흡수기, 증발기의 2단화에 의한 흡수사이클 고효율화, 용액열교환기 보강 및 드레인 열교환기 신설에 의한 사이클 내부 열회수 촉진 및 배가스 열회수에 의한 것으로 냉방 COP를 종래형에 비해 약 35% 향상시켰다. 배열회수 고도화는 배열을 잠열로 회수하기 위해 배열재생기의 신설, 배열 단독운전시의 부하추종성 향상을 목적으로 한 배열온수 3방밸브 비례제어를 채용한 것으로 정격시의 배열 이용률을 종래에 비해 1.5 ~ 3배, 정격시의 가스소비율을 10 ~ 15% 향상시켰다.

배열이용률 특성

그림 11에 정격조건을 기준으로 하여 냉방부하율과 배열이용률의 관계를 나타내었다. 냉방부하율이 낮아짐에 따라 배열이용률이 증가하고 있지만, 이것은 용액온도가 낮아지고, 배열온수온도와

의 온도차가 확대되는 것에 기인하고 있다. 그리고 냉방부하율이 약 40% 이하에서는 배열만으로 운전이 가능하고, 중간기와 같이 냉방저부하기에는 연료가스를 전혀 소비하지 않고 운전할 수 있어 에너지절약성이 현격히 향상되었다.

가스소비량 특성

그림 12에 냉방부하율과 가스소비율과의 관계를 나타내었다. 정격운전시의 가스소비량은 배열이 없는 경우의 가스소비량에 비해 25% 삭감되었다. 냉방부하율이 약 40% 이하에서는 배열온수 단독 운전이 가능하고, 연료가스가 전혀 필요없는 에너지 절약형 운전이 가능하다.

마무리

흡수식 업계에서 관심이 많은 주제를 중심으로 일본의 신기술 동향 중 3중효용, 고효율 이중효용 및 배열투입형 흡수식 시스템의 신기술 동향을 간략히 정리하였다.

3중효용 흡수식 냉온수기를 개발하는 데는 고온 재생기 냉매중기 압력이 대기압을 초과하여 보일러로 취급되는 점과 온도상승에 따른 부식문제를 특히 고려하여야 한다. 따라서 고온재생기는 고진공구조 뿐 만 아니라 보일러규격 등의 관련규격을 만족할 수 있는 내압구조를 필요로 하며, 부식억제 기술은 기기의 수명과 안전성에 직결되는 주요 기

술이다.

2중효용 흡수식 냉온수기에 관해서는 현실적인 과제들로 효율향상에 초점이 맞추어져 있다. 그중 2단흡수/2단증발 사이클 개발과 열회수 효율향상 기술, 부식환경 개선 및 배가스 유효이용 등에 관해 지속적인 개선이 이루어지고 있다.

마지막으로 소개한 것은 최근 보급이 늘고 있는 열병합 발전의 배열을 효과적으로 흡수식 시스템에 이용할 수 있는 “에너지절약형 배열투입 가스 흡수식 냉온수기”의 실용화 기술이다. 우리나라에서도 열병합 보급이 확산됨에 따른 배열이용 전용 흡수식 냉온수기가 개발되어 보급이 활발해 지기를 기대해 본다.

참고문헌

1. Yosuke Goto, 2008, Triple effect absorption chiller-heater, Refrigeration, Vol. 83, No. 5, 29~34
2. Takashi Aoyama, 2008, High efficiency absorption chiller-heater, Refrigeration, Vol. 83, No. 5, 35~41
3. Ritsu Homma, 2008, Absorption chiller-heater with auxiliary waste heat recovery, Refrigeration, Vol. 83, No. 5, 42~46